

*А.Е. Басманов, докт. техн. наук, гл. научн. сотрудник, УГЗУ,  
А.А. Михайлюк, адъюнкт, УГЗУ*

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО СУХОЙ СТЕНКЕ ГОРЯЩЕГО РЕЗЕРВУАРА**

(представлено доктором техн. наук Ю.А. Абрамовым)

Определено стационарное распределение температуры по высоте сухой стенки. Показано, что эта зависимость носит характер близкий к линейному. Найдены коэффициенты этой зависимости.

**Постановка проблемы.** Пожар в резервуаре с нефтепродуктами характеризуется выделением значительного количества тепла и наличием высоких температур. Так, например, сухая стенка горящего резервуара нагревается до температуры порядка 800°C. Наличие такой высокой температуры в 50% случаев приводит к разрушению резервуара и выбросу нефтепродукта. Поэтому определение распределения температуры по сухой стенке горящего резервуара необходимо для прогнозирования времени, через которое возможна деформация и разрушение горящего резервуара и определения оптимального времени ввода сил и средств, для предотвращения возникновения данной чрезвычайной ситуации.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [1] построена модель нагрева горящего резервуара, учитывающая лучистый и конвективный теплообмен, но не учитывающая неравномерный нагрев сухой стенки. В работе [2] построена модель нагрева негорящего резервуара под тепловым воздействием пожара, учитывающая его неравномерный нагрев путем разбиения его поверхности на отдельные области и учета взаимодействий между ними. Однако, открытым остается вопрос о распределении температуры по сухой стенке горящего резервуара.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является определение распределения температуры по сухой стенке горящего резервуара в зависимости от его диаметра, вида нефтепродукта и высоты сухой стенки над уровнем нефтепродукта.

Математическая модель нагрева сухой стенки горящего резервуара с нефтепродуктом имеет вид [3]

$$c_c \rho_c \delta_c \frac{dT_k}{dt} = c_0 \varepsilon_c \left[ \varepsilon_\phi \frac{H_k^\phi}{S_k} \left( \left( \frac{T_\phi}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_k}{100} \right)^4 \right) + \right.$$

$$\begin{aligned} & \varepsilon_n \frac{H_k^H}{S_k} \left( \left( \frac{T_{\text{кип}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_k}{100} \right)^4 \right) + \left( \left( \frac{T_o}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_k}{100} \right)^4 \right) + \\ & \quad + \sum_{i=1}^N \varepsilon_i \frac{H_{ki}}{S_k} \left( \left( \frac{T_i}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_k}{100} \right)^4 \right) + \\ & \quad + \alpha_r (T_k - T_{\text{кип}}) + \alpha_b (T_k - T_b), k = 1, 2, \dots, N, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $N$  – количество областей на которые условно разделена сухая стенка горящего резервуара;  $\varepsilon_\phi, \varepsilon_c$  – степени черноты факела и сухой стенки резервуара;  $H_k^\phi$  – площадь взаимного облучения между областью  $k$  и факелом,  $H_{ki}$  – площадь взаимного облучения между областями  $i$  и  $k$ ,  $c_c, \rho_c$  – теплоемкость и плотность стали;  $\delta_c$  – толщина стенки,  $T_o$  – температура окружающей среды;  $S_k$  – площадь поверхности области  $k$ ,  $\varepsilon_n$  – степень черноты поверхности нефтепродукта,  $T_{\text{кип}}$  – температура кипения нефтепродукта,  $H_k^H$  – площадь взаимного облучения между областью  $k$  и поверхностью нефтепродукта,  $\alpha_r$  – коэффициент конвективной теплоотдачи во внутреннее газовое пространство резервуара,  $\alpha_b$  – коэффициент конвективной теплоотдачи в окружающий воздух.

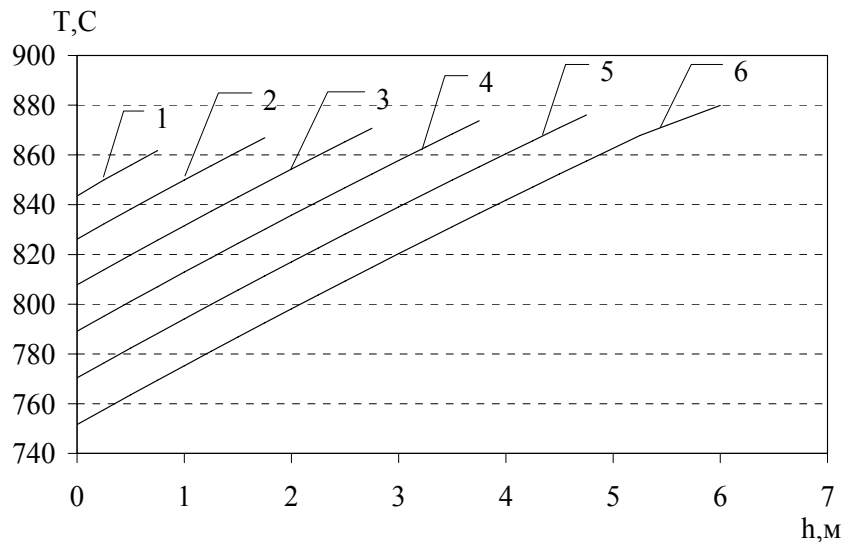
Система уравнений (1) может быть решена численными методами, например, в математической среде MATLAB. Исследуем влияние вида горящего нефтепродукта, высоты сухой стенки и диаметра резервуара на распределение температуры по высоте сухой стенки горящего резервуара.

На рис.1 приведена зависимость температуры сухой стенки горящего резервуара РВС–10000 с бензином от высоты над уровнем нефтепродукта. Из рисунка видно, что эта зависимость близка к линейной

$$T = a(x - h) + b, 0 \leq x \leq h, \quad (2)$$

где  $x$  – высота над уровнем нефтепродукта,  $h$  – высота сухой стенки горящего резервуара.

При этом для резервуаров одного диаметра коэффициент  $a$  является постоянным, независимо от высоты сухой стенки (все прямые имеют одинаковый угол наклона).



**Рисунок 1 – Зависимость температуры сухой стенки горящего резервуара с бензином от высоты над уровнем нефтепродукта: 1 – h=1 м, 2 – h=2 м, 3 – h=3 м, 4 – h=4 м, 5 – h=5 м 6 – h=6 м**

Коэффициент  $b$  в (2) равен температуре на верхнем крае сухой стенки, которая с погрешностью, не превышающей одного процента, является величиной, не зависящей от высоты сухой стенки (для значений  $h = 1...6$ ) – рис. 1.

Исследуем зависимость, коэффициентов  $a$  и  $b$ , входящих в формулу (2) от диаметра резервуара и вида нефтепродукта.

На рис.2 приведена зависимость коэффициента  $a$  от диаметра  $D$  резервуара с бензином и его аппроксимация вида

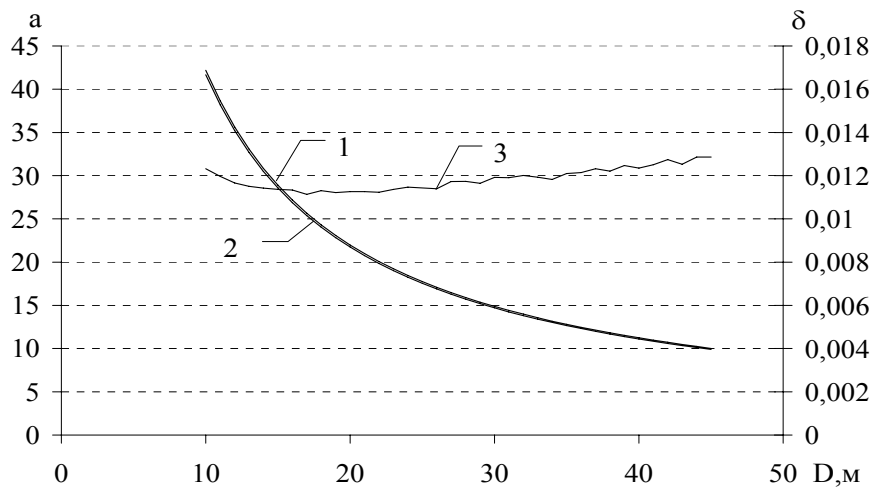
$$a = \frac{1000}{2,2D + 2}.$$

При этом погрешность аппроксимации коэффициента  $a$  данной функцией не превосходит 1% (рис. 2).

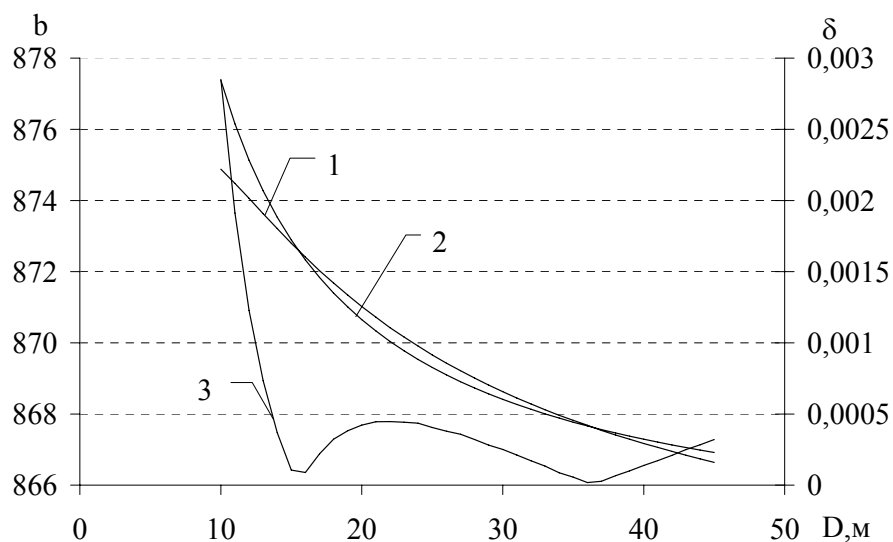
Зависимость коэффициента  $b$  от диаметра резервуара хорошо аппроксимируется (рис. 3) рациональной функцией:

$$b = \frac{863,93D + 134,44}{D}.$$

При этом погрешность аппроксимации коэффициента  $b$  данной функции не превосходит 3% (рис. 3).



**Рисунок 2 – Зависимость коэффициента  $a$  от диаметра  $D$  резервуара с бензином и его аппроксимация: 1 – при численном решении, 2 – при решении с помощью приближенной зависимости, 3 – погрешность при переходе от численного метода к приближенной зависимости**



**Рисунок 3 – Зависимость коэффициента  $b$  от диаметра  $D$  резервуара с бензином и его аппроксимация: 1 – при численном решении, 2 – при решении с помощью приближенной зависимости, 3 – погрешность при переходе от численного метода к приближенной зависимости**

Таким образом, температура сухой стенки горящего резервуара с бензином может быть аппроксимирована выражением (3)

$$T = \frac{1000}{2,2D + 2} (x - h) + \frac{863,93D + 134,44}{D}, \quad (3)$$

---

---

где  $D$  – диаметр резервуара,  $x$  – высота над уровнем нефтепродукта,  $h$  – высота сухой стенки горящего резервуара.

**Выводы.** Путем численного решения системы дифференциальных уравнений, описывающих изменение температуры сухой стенки горящего резервуара с нефтепродуктом, найдено стационарное распределение температуры по высоте сухой стенки. Показано, что эта зависимость носит характер близкий к линейному. Определены коэффициенты этой зависимости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Моделирование нагрева сухой стенки горящего резервуара с нефтепродуктом. // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2006. – Вып. 20. – С. 3–7.

2. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Нагрев резервуара с нефтепродуктом под тепловым воздействием пожара // Пожаровзрывобезопасность. – Москва: Пожнаука, 2007. – Т. 16, №3. – С.36–42.

3. Басманов А.Е., Михайлюк А.А. Математическая модель нагрева сухой стенки горящего резервуара с нефтепродуктом. // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2008. – №23. – С.35–39  
nuczu.edu.ua

Статья поступила в редакцию 10.09.2008 г.